บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไขมันในสัตว์ (Fat in animals)

ไขมันจัดเป็นโภชนะที่ให้พลังงาน ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ต่อเป็นสายยาวมีหมู่ carboxyl group (COOH) อยู่ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง (พจน์และคณะ, 2543) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีไฮโดรเจนอยู่เต็มระหว่างอะตอมของคาร์บอนจะจับติดต่อกันแบบพันธะเดี่ยว (single bond) ถ้ามีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอมจะมีสภาพเป็นของเหลว ถ้ามีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอมจะมีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) ระหว่างอะตอมของคาร์บอน

ตารางที่ 1 จำแนกประเภทของกรดไขมัน

ชื่อ โครงสร้าง	จุดหลอมเหลว (^{0}C)	จำนวน C : จำนวนพันธะคู่	สูตร
Saturated fatty acid			
Acetic	-	2 : 0	CH_3COOH
Propionic	-	3 : 0	C_2H_5COOH
Butyric	-7.0	4 : 0	C_3H_7COOH
Palmitic	63.1	16 : 0	$C_{15}H_{31}COOH$
Stearic	69.6	18 : 0	$C_{17}H_{35}COOH$
Unsaturated fatty acid			
Palmitoleic	-0.5	16 : 1	$C_{15}H_{29}COOH$
Oleic	13.4	18 : 1	$C_{17}H_{33}COOH$
Linoleic	-5.0	18 : 2	$C_{17}H_{31}COOH$
Linolenic	-11.0	18 : 3	$C_{17}H_{29}COOH$

ที่มา : ศรีสกุล และรณชัย (2539)

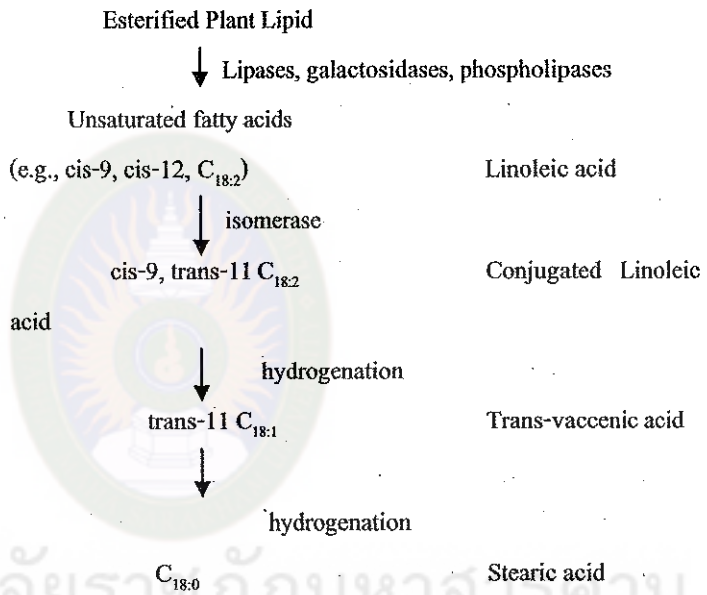
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2 เมธาบอลิซึมของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Metabolism of fat in ruminant)

กรดไขมันที่พบในพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว แต่เมื่อมาถึงกระเพาะหมัก ซึ่งมีสภาพแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น 3 ขั้นตอน (ฉลอง, 2541) คือ

1) Hydrolysis โดย triglyceride ถูก hydrolyse ได้เป็น glycerol และfatty acid

2) Hydrogenation โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดขบวนการนี้ เช่น Butyrivibrio fibrisolvens (Latham et al., 1972) และ Anaerovibrio lipolytica (Jenkins, 1993) เป็นหลัก โดยมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว (Drackley, 2000) ดังแผนภาพ

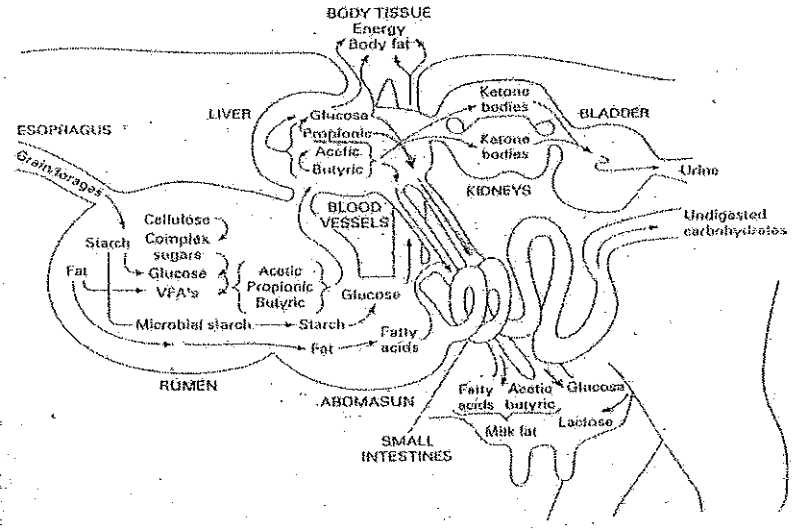


แผนภาพที่ 1: ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมัก

ที่มา : Jenkins (1993) ; Drackley (2000)

3) Isomerization เป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจากรูป cis ให้เป็น trans ขบวนการดังกล่าว ทำให้จุดหลอมเหลวของกรดไขมันสูงขึ้น ไขมันมีลักษณะแข็งตัวขึ้น ซึ่งไขมันดังกล่าวหากบริโภคมากส่งผลต่อภาวะไขมันอุดตัน (วิโรจน์, 2546) กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากคือ Stearic acid และ palmitic acid นอกจากนี้จุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่จากกรดโพพิออนิก และกรดไขมันที่มีสายไฮโดรคาร์บอน ที่เป็นแขนงได้ โดยสังเคราะห์ได้จาก Valine, Leucine และ Isoleucine (ศรีสกุล และรณชัย, 2539) นักวิทยาศาสตร์ได้มีความพยายามที่ลดกรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น การใช้ไขมันผ่านกรรมวิธี (Protected fat) เพื่อป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยให้ไขมันที่ได้รับจากอาหารไปถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้โดยตรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 1 : การใช้ประโยชน์ของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ที่มา : ฉลอง (2541)

2.2.1 การสังเคราะห์กรดไขมัน

การสังเคราะห์กรดไขมันพบในไซโตพลาสซึม โดยมี acetyl CoA เป็นสารตั้งต้น อีกทั้งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ในไมโตรคอนเดรีย โดยทั้งสอง pathway นี้ ประกอบ ด้วยเอนไซม์ 4 ชนิด ได้แก่ β- keto-Acyl carrier protein synthase, β- keto-ACP reductase, 3-OH acyl-ACP dehydratase and enoyl-CoA reductase. (Michele, 2006 http://web.indstate.edu/thcme/mwking/lipid-synthesis.html/2/4/50) ซึ่งจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะต้องการ NADPH เพื่อเปลี่ยนไปเป็น $NADP^+$ โดยขั้นตอนการสังเคราะห์กรดไขมันประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน (พจน์ และคณะ, 2543) ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. malonyl ACP + Acetyl-ACP ---------- Ketoacyl synthetase ----------> Acetoacetyl-ACP + CO_2

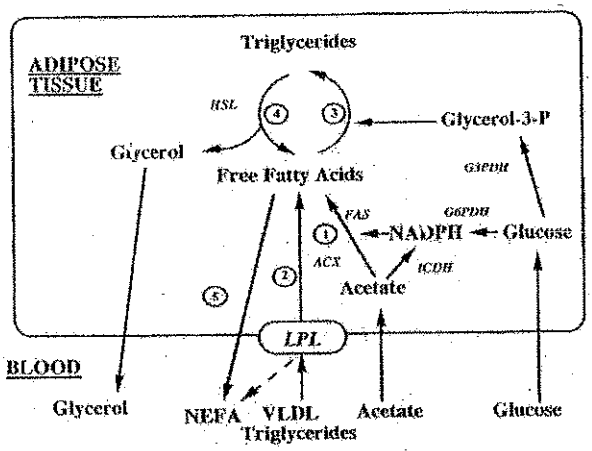
2. Reduction : Keto-group ---------- 3- ketoacyl reductase ----------> OH-group + 3-hydroxy acyl ACP

3. Dehydration : 3-hydroxy acyl ACP ---------- hydratase ----------> 2,3- unsaturated acyl ACP

4. Reduction : double bond of fatty acid chain ---------- unsaturated acyl reductase ----------> single bond

กรดไขมันชนิดแรกที่ถูกสร้างขึ้นได้แก่ พามิเตท ซึ่งสามารถต่อสายยาวให้เป็นโมเลกุลของกรดไขมันได้

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องการสังเคราะห์ไขมัน (De novo fatty acid synthesis) เกิดขึ้นที่ Adipose tissue เป็นหลัก สารตั้งต้นคือ acetic acid หากเป็นการสังเคราะห์ไขมันในต่อมน้ำนมใช้ butyric acid เป็นสารตั้งต้น (ฉลอง, 2541) ที่ได้จากขบวนการหมัก ดังนี้



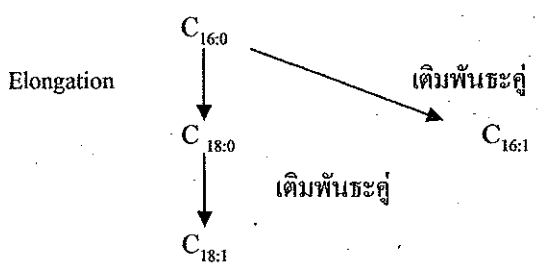
1= De novo fatty acid synthesis, 2 = hydrolysis, 3 = (re)esterification, 4 = lipolysis, 5 = lipomobilization, Very low density lipoprotein (VLDL), Acetyl-coenzyme A carboxylase (ACX), Glucase-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH), Hormone-sensitive lipase (HSL), NADP-isocitrate dehydrogenase (ICDH), Lipoprotein lipase (LPL), Glycerol-3-phosphate dehydrogenase (G3PDH)

แผนภาพที่ 2: ขั้นตอนการสังเคราะห์กรดไขมันในเนื้อเยื่อไขมัน

ที่มา : Chilliard (1993)

2.2.2 การเติมพันธะคู่เข้าไปในกรดไขมัน

หลังจากที่ไขมันถูกสังเคราะห์แล้วโดยการทำงานของ fatty acid synthase เมื่อสิ้นสุดขบวนการจะได้ palmitic acid ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดอื่นได้ โดยการต่อสาย (elongation) ทำให้ได้สายกรดไขมันที่ยาวขึ้น,การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (desaturation) (ปนัดดา, 2546) หรือการเติมพันธะคู่เข้าไปในสายของกรดไขมันนั่นเอง ซึ่งเกิดใน endoplasmic reticulum จากการทำงานของ fatty acyl CoA desaturase โดยenzyme desaturase จะออกซิไดซ์พันธะเดี่ยวของกรดไขมันอิ่มตัวพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่ –OH (hydroxylation) ทำให้พันธะเดี่ยวถูกเปลี่ยนเป็นพันธะคู่ ในโมเลกุลของ palmitic acid ($C_{16:0}$) ได้เป็น palmitoleic acid ($C_{16:1}$) และ ในโมเลกุลของ stearic acid ($C_{18:0}$) ได้เป็น oleic acid ($C_{18:1}$) ดังแผนภาพ



แผนภาพที่ 3: ขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว

ที่มา : ปนัดดา (2546)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

นอกจากนี้ในต่อมน้ำนมของสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่ามีการทำงานของ enzyme desaturase โดยการเพิ่มพันธะคู่ (cis double bond) เข้าไประหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10 ของกรดไขมัน การวัดประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์สามารถวัดโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของ ผลผลิตที่ได้ : สารตั้งต้น ของกรดไขมัน อย่างไรก็ตามกรดไขมันที่ได้จากการทำงานของ enzyme desaturase ในต่อมน้ำนม 4 ชนิดหลัก คือ

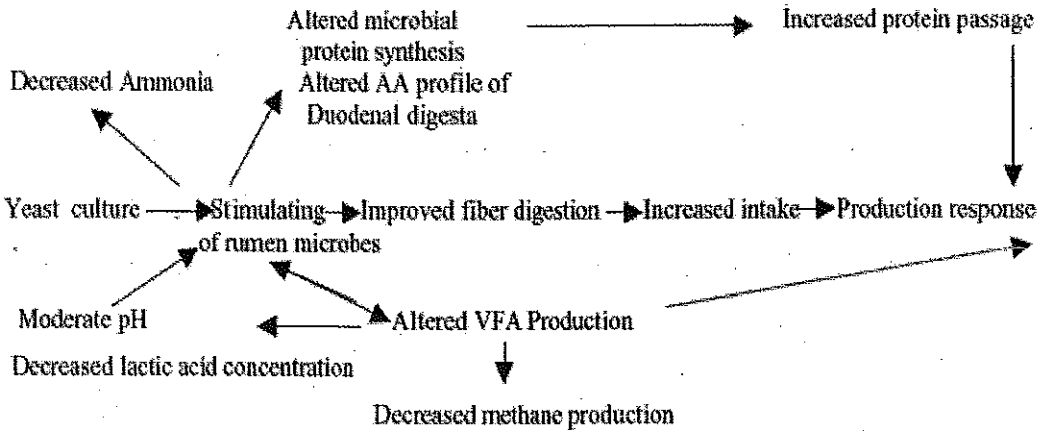
ตารางที่ 2 ชนิดของกรดไขมันที่ได้จากการทำงานของ enzyme desaturase ในต่อมน้ำนม

สารตั้งต้น	ผลผลิตที่ได้
$C_{14:0}$	$C_{14:1}$
$C_{16:0}$	$C_{16:1}$
$C_{18:0}$	Cis-9 $C_{18:1}$
Trans-11 $C_{18:1}$	Conjugated Linoleic acid (CLA)

ที่มา : Lock and Garnsworthy (2003)

2.3 การเสริมไขมันและยีสต์ Saccharomyces cerevisiae ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การเสริมไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถช่วยในการขุนโคได้ เนื่องจากไขมันเป็นแหล่งของพลังงาน อย่างไรก็ตามการเสริมไขมันควรใช้ในระดับต่ำสุด เพราะมีผลต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Bauman et al., 2003) ซึ่งระดับที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 5 % ในอาหาร เนื่องจากหากใช้ในระดับที่สูงจะลดความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย เพราะไขมันในระดับสูงจะไปลดจำนวนของเซลลูโลไลติค แบคทีเรีย ในกระเพาะหมัก ซึ่งสอดคล้องกับ Chilliard (1993) รายงานว่า ไขมันในอาหารจะลดขบวนการสังเคราะห์กรดไขมันในเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ซึ่งปริมาณไขมันมีผลกระทบไปลดการย่อยได้ของเยื่อใย รวมถึงเพิ่มปริมาณการผลิตแก๊สมีเธน และลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและโปรโตซัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลไลติก แบคทีเรีย แต่อย่างไรก็ตามการเสริม protected fat สามารถช่วยยับยั้งพิษที่เกิดจากการเสริมไขมันในระดับสูงที่เป็นผลจากขบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ยังพบว่ากรดไขมันที่ดูดซึมในลำไส้เล็กจะเหมือนกับกรดไขมันที่มาจากกระเพาะหมัก แต่เมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา ได้มีการเสริมยีสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Saccharomyces cerevisiae ในการผลิตโคขุน เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย โดยการกระตุ้นการทำงานของเซลลูโลไลติก แบคทีเรีย (Lynch and Martin, 2002 ; Callaway and Martin, 1997) เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร พีเอชและกรดไขมันที่ระเหยได้อีกด้วย (Quigley et al., 1992) แสดงได้ดังแผนภาพที่ 4

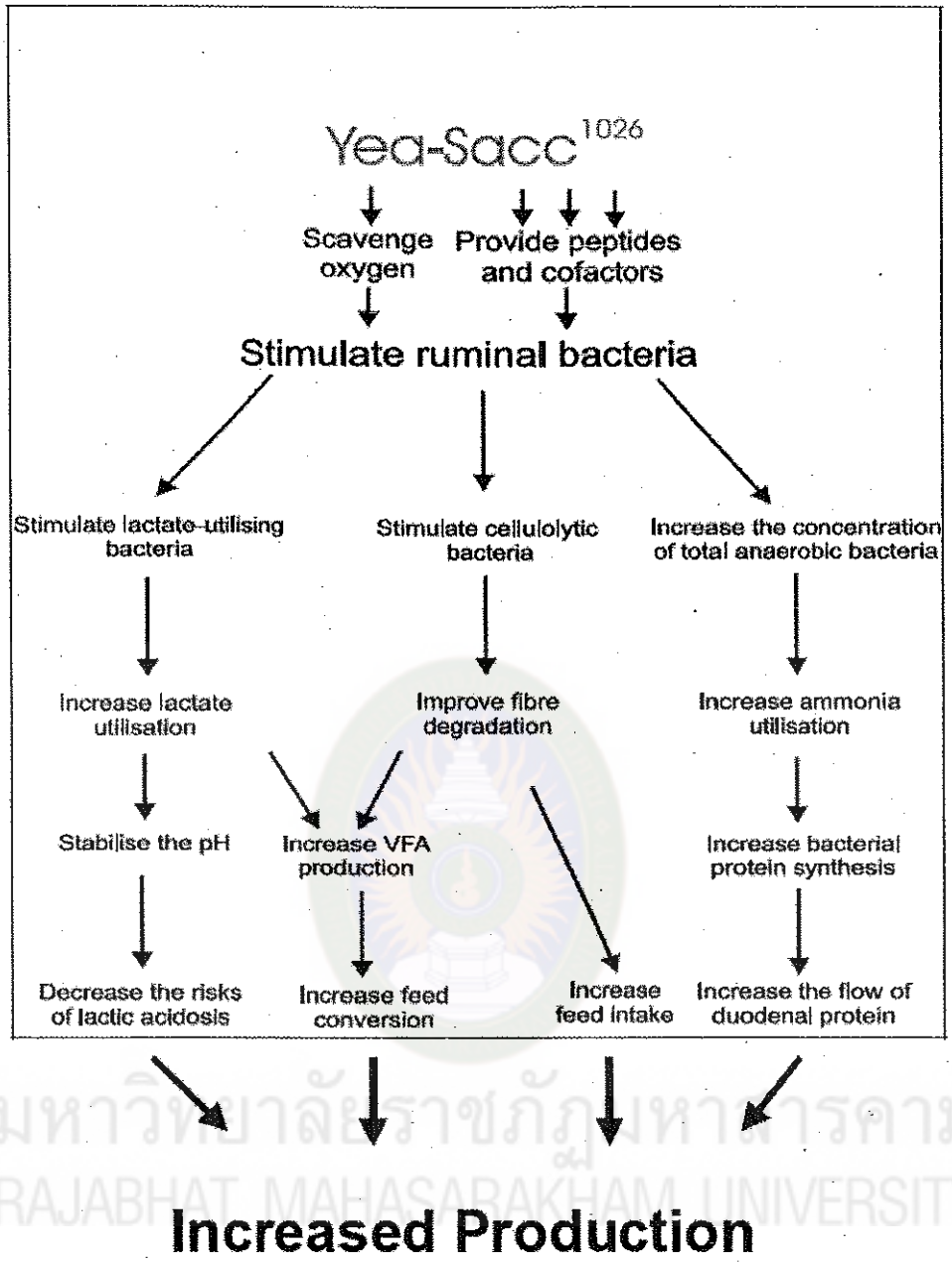


แผนภาพที่ 4: ขั้นตอนการทำงานของยีสต์ Saccharomyces cerevisiae

ที่มา : Putnum and Schewab (1994) ; Abd El-Ghani (2004)

อย่างไรก็ตามมีการใช้ยีสต์ Saccharomyces cerevisiae ในรูปแบบทางการค้าหลายบริษัท โดยจากการทดลองครั้งนี้ใช้ Yea-Sacc^{1026} ที่ผลิตโดยบริษัท alltech ซึ่งมีกลไกการออกฤทธิ์ ดังแผนภาพที่ 5

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แผนภาพที่ 5: ขั้นตอนการทำงานของ Yea-Sacc[1026]

ที่มา : http://www.alltech.com (2007)